



Тренажер электростанции с поперечными связями (часть 1)

Фирма АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (АО «ТЭСТ») разработала и сдала в эксплуатацию тренажер станции с поперечными связями (два котла ТП-80, турбина ПТ-60-130/13, турбина Т-100-130 и вспомогательное оборудование)

Тренажер электростанции с поперечными связями прошел государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Тренажер электростанции с поперечными связями может применяться для подготовки оперативного персонала на тепловых электрических станциях, в учебных центрах, высших и средних учебных заведениях

Котел ТП-80

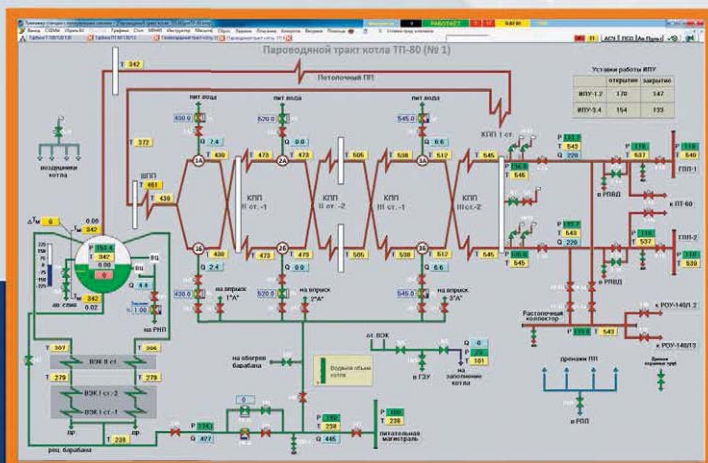
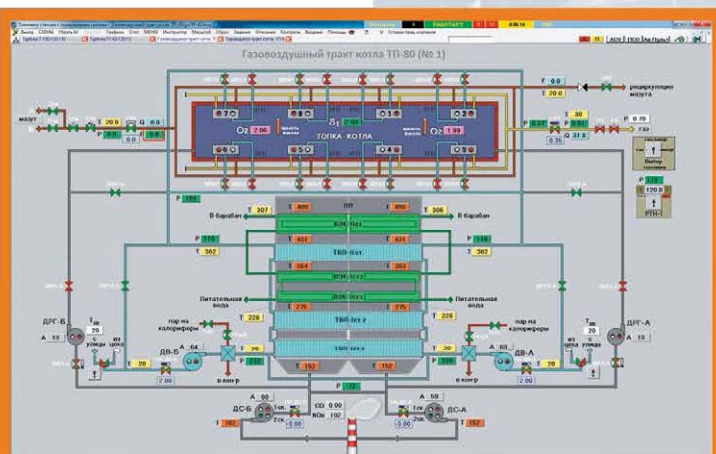
Котельный агрегат ТП-80 изготовлен Таганрогским котельным заводом и предназначен для получения пара высокого давления при сжигании природного газа и мазута. Котлоагрегат, однобарабанный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, радиационный, имеет П-образную компоновку. На котле установлена система розжига и управления горелками «АМАКС».

Котел спроектирован для работы со следующими параметрами:

- номинальная паропроизводительность — 420 т/час
- рабочее давление в барабане котла — $140 \div 155 \text{ кг/см}^2$
- давление за главными паровыми задвижками — 130 ата
- температура перегретого пара — $545^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$
- температура питательной воды — 230°C
- температура горячего воздуха — 400°C

Общестанционное оборудование.

- главные паропроводы: общестанционный главный паропровод 130 ата ГПП-1 и ГПП-2, растопочный коллектор, две редукционно-охладительные установки – РОУ-140/1.2, РОУ-14/13;
- питательно-деаэрационная установка состоит из четырех деаэраторов 6 ата и четырех питательных насосов ПЭ-500-180;
- циркуляционная система: водоподводящий канал для подачи (самотеком) охлаждающей воды на всас циркуляционных насосов и далее в конденсаторы турбоагрегатов ПТ-60-130/13 и Т-100/120-130, а также в общестанционный циркуляционный коллектор;
- коллекторы собственных нужд: паровой коллектор СН 8÷13 ата, паровой коллектор 1.2 ата;
- теплофикационная установка: четыре бойлера для подогрева сетевой воды – два основных и два пиковых, сетевые насосы, КНБ;
- схема подпиточной: деаэраторы 1.2 ата, подогреватели сырой и обессоленной воды, насосы подпитки, сырой и обессоленной воды.



АО «Тренажеры электрических станций и сетей»:

117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6
Тел. (495) 665-76-00, факс (495) 382-79-74
e-mail: magid@testenergo.ru, www.testenergo.ru

На первой странице обложки изображен фрагмент мнемосхемы тренажера электростанции с поперечными связями

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Е. Н. АРХИПОВА — д. т. н., заслуженный энергетик России, генеральный директор АО «Тренажеры электрических станций и сетей» (Москва, Россия)

РЕДАКТОРЫ РАЗДЕЛОВ

А. Я. ШЕЛГИНСКИЙ — д. т. н., профессор кафедры «Промышленные теплоэнергетические системы», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (Москва, Россия) — раздел «Генерация электроэнергии и тепла»
Н. Д. ЧИЧИРОВА — действительный член Российской академии естественных наук, д. х. н., профессор, зав. кафедрой «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия) — раздел «Эксплуатация электрических станций»

В. СТРИЕЛКОВСКИ — доктор философии, профессор, научный сотрудник Кембриджской бизнес-школы Кембриджского университета (Англия) — раздел «Электрогенерация зарубежных стран»

И. Г. АХМЕТОВА — д. т. н., проректор по научной работе, зав. кафедрой Экономики и организации производства ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия) — раздел «Цифровые технологии и экономика»

Н. Н. ШВЕЦ — д. э. н., профессор, зав. кафедрой «Мировая электроэнергетика» МГИМО МИД России — раздел «Энергетические аспекты международных отношений»

А. И. ТАДЖИБАЕВ — Заслуженный энергетик Российской Федерации, действительный член Академии электротехнических наук, д. т. н., зав. кафедрой «Диагностика и управление техническим состоянием энергетического оборудования» ФГАОУ ДПО «ПЭИПК» (Санкт-Петербург, Россия) — раздел «Техническая диагностика и неразрушающий контроль в энергетике»

А. Е. УЖАНОВ — к. с. н., доцент кафедры «Мировая электроэнергетика» Международного института энергетической политики и дипломатии МГИМО МИД России, член-корреспондент Академии военных наук (Москва, Россия) — раздел «Социология в энергетике»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. Н. ВИВЧАР — к. г. н., Начальник инженерного управления ПАО «Мосэнерго» (Москва, Россия)

А. В. ВОЛКОВ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой Гидромеханики и гидравлических машин, Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва, Россия)

Е. П. ГРАБЧАК — Заместитель министра Министерства энергетики Российской Федерации (Москва, Россия)

Х. С. ДРАГАНЧЕВ — профессор Технического университета (Варна, Болгария)

А. А. ЖАРКОВСКИЙ — д.т.н., профессор, профессор Высшей школы энергетического машиностроения Института энергетики, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (Санкт-Петербург, Россия)

А. М. ЗАГРЕБАЕВ — д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Кибернетика» / Институт интеллектуальных кибернетических систем, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Москва, Россия)

И. Ш. ЗАГРЕТДИНОВ — к. т. н., генеральный директор АО «Институт Теплоэлектропроект», (Москва, Россия)

М. Г. ЗИГАНШИН — д. т. н., доцент, профессор кафедры «Атомные и тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Казань, Россия)

З. ЗИМОН — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой Бранденбургского Технического Университета (Котбус-Зенфтенберг, Германия)

И. М. ИБРАГИМОВ — д. т. н., ведущий научный сотрудник Акустического института имени академика Н. Н. Андреева (Москва, Россия)

М. С. ИВАНИЦКИЙ — д.т.н., доцент, профессор кафедры «Энергетика» филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском (Волжский, Россия)

Н. Б. КАРИЦКИЙ — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета (г. Минск, Беларусь)

С. А. КРОПАЧЕВ — д. и. н., ректор Энергетического института повышения квалификации АО «Мособлэнерго» (Москва, Россия)

В. В. КУЛИЧИХИН — д. т. н., академик Академии промышленной экологии РФ, член-корреспондент Академии военных наук МО РФ, постоянный представитель РФ в Международной сети европейских технических университетов NESEFF, член Союза журналистов Москвы (Москва, Россия)

В. И. ЛЕБЕДЕВ — д. т. н., профессор, заместитель директора института ядерной энергетики ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический

университет Петра Великого» (Санкт-Петербург, Россия)

М. Ю. ЛЬВОВ — д. т. н., советник генерального директора АО «Объединенная энергетическая компания» (Москва, Россия)

Н. Я. о. МАМЕДОВ — к. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Строительство инженерных систем и сооружений», Азербайджанский Архитектурно-строительный Университет (Баку, Азербайджан)

М. Е. МАРЧЕНКО — к. т. н., генеральный директор ООО «Энив» (Москва, Россия)

В. Е. МЕССЕРЛЕ — д. т. н., профессор, главный научный сотрудник НИИ экспериментальной и теоретической физики Казахского Национального Университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан)

С. В. МИЩЕРЯКОВ — д. э. н., к. т. н., Генеральный директор Некоммерческого Партнерства «Корпоративный образовательный и научный центр Единой энергетической системы» (Москва, Россия)

Д. МОРВА — доктор, профессор Будапештского политехнического университета (Будапешт, Венгрия)

Л. П. МУЗЫКА — к. т. н., доцент, директор ООО «Ресурс-персонал» (Омск, Россия)

А. Н. НАЗАРЫЧЕВ — д. т. н., профессор, ректор ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» (Санкт-Петербург, Россия)

М. Е. ОРЛОВ — к. т. н., доцент, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В. И. Шаропова» Ульяновского государственного технического университета (г. Ульяновск, Россия)

М. М. ПЧЕЛИН — Государственный советник РФ 1-го класса в отставке, лауреат премии Совета Министров СССР (Москва, Россия)

Ю. А. РАДИН д.т.н., главный специалист в службе вибродиагностики и наладки инженерного управления ПАО «Мосэнерго» (Москва, Россия)

С. М. СЕНДЕРОВ — д. т. н., с.н.с., заместитель директора, заведующий отделом энергетической безопасности ФГБУН Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (Иркутск, Россия)

К. ФРАНА — д. т. н., профессор, заместитель декана факультета «Машиностроение» Технического университета (г. Либерец, Чехия)

М. И. ЧИЧИНСКИЙ — к. т. н., Генеральный инспектор — начальник Департамента технического надзора и аудита ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ПАО «ФСК ЕЭС») (Москва, Россия)

В. И. ЩЕРБА — д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Гидромеханика и транспортные машины» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Омск, Россия)

Учредитель и издатель: Научно-производственное объединение «Энергобезопасность».

Периодичность издания четыре раза в год. Выходит с 2008 года.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия. Свидетельство ПИ № ФС77-31974 от 14 мая 2008 г.

Журнал включен в новый перечень ВАК Министерства науки и высшего образования РФ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней, а также в базы данных: РИНЦ, ВИНТИ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory.

Журнал ассоциирован при Международном центре обучающих систем ЮНЕСКО и Международной кафедре-сети ЮНЕСКО «TVET».

Подписные индексы: 45024 — Объединенный каталог и интернет-каталог «Пресса России», Е45024 — Интернет-каталог «Книга-сервис».

Художественный редактор: Маланин Д. Б. Технический редактор: Кутько Н. Е.
Подписано в печать 28.06.2024 г. Отпечатано в ООО «Код-Полиграф», 125009, Россия, Москва, пр. Девичьего Поля, д. 4.

Почтовый адрес редакции: 117587, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 125 Ж, корп. 6, ООО «НПО «Энергобезопасность»

Телефон: +7 495 665-76-00, +7 495 382-79-74; e-mail: sigma08@sigma08.ru; www.sigma08.ru

© ООО «НПО «Энергобезопасность», «Надежность и безопасность энергетики»

Scientific and Engineering Journal Safety and Reliability of Power Industry

Volume 17

Nº2

2024

EDITOR-IN-CHIEF

Elena N. ARKHIPOVA — Dr. of Tech. Sc., Honored Power Engineer of Russia, General Director, JSC «Simulators of power plants and networks» (Moscow, Russia)

SECTION EDITORS

Aleksandr Y. SHELGINSKY — Dr. of Tech. Sc., Professor of Heat Power Industry Department, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Moscow, Russia) — section «Electric power and heat generation»

Nataliya D. CHICHIROVA — full member of the Russian Academy of Natural Sciences, Dr. of Chem. Sc., Professor, head of the Department of Thermal power plants of the «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia) — section «Operation of power plants»

Wadim STRIELKOWSKI — Ph.D., University of Cambridge, Judge Business School (Cambridge, England) — section «Power generation in foreign countries»

Irina G. AKHMETOVA — Dr. Eng., Vice-rector for research, head of the Department of Economics and Information Technologies, of the «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia) — section «Digital technologies and economy»

Nikolay N. SHVETS (PhD (Ec.)), Professor, Head of the World Electric Power Industry Department, MGIMO University of the Russian Federation Ministry of Foreign Affairs — section «Energy Related Aspects of International Relations»

Aleksey I. TADZHIBAYEV — Honoured Power Engineer of the Russian Federation, full member of the Academy of Electrical Engineering Sciences, Doctor of Engineering, Head of FSAEI of Advanced Professional Training «PEIPK» (St. Petersburg, Russia) — section «Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing in Power Engineering»

Aleksandr Ye. UZHANOV — Cand. of Sociol. Sc., Associate Professor of World Power Industry Department, International Institute of Energy Policy and Diplomacy, MGIMO of the Russian Federation Foreign Ministry, Associate Member of the Academy of Military Sciences (Moscow, Russia) — «Sociology in Energy Industry»

EDITORIAL BOARD

Anton N. VIVCHAR — Cand. of Geogr., Head of Engineering Directorate, PJSC Mosenergo (Moscow, Russia)

Alexandr V. VOLKOV — Dr. Eng., Professor, Head of Department of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines, National Research University MPEI (Moscow, Russia)

Hristo S. DRAGANICHEV — Professor of the Varna Technical University (Varna, Bulgaria)

Evgeny P. GRABCHAK — Deputy Minister of the Ministry of Energy of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Aleksandr A. ZHARKOVSKII — Dr. Eng., Professor, Full Professor of Higher School of Power Engineering, Institute of Energy, «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University» (St. Petersburg, Russia)

Andrey M. ZAGREBAEV — Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Head of Department of Cybernetics/ Institute of Cyber Intelligence Systems, National Research Nuclear University MEPhI (Russian Federation, Moscow)

Ilyas Sh. ZAGRETDINOV — Cand. Sc. (Eng), Director of JSC «Institute Teploelectroproject» (Moscow, Russia)

Malik G. ZIGANSHIN — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Nuclear and Thermal Power Plants FGBOU VO «Kazan State Power Engineering University» (Kazan, Russia)

Sylvio SIMON — Prof. Dr.-Ing., Brandenburg University of Technology (Cottbus-Senftenberg, Germany)

Ildar M. IBRAGIMOV — Dr. Eng., Leading Researcher of the Andreev Acoustic Institute (Moscow, Russia)

Maxim S. IVANITSKY — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Energy Branch of the FGBOU VO «National Research University «MPEI» in Volzhsky (Volzhsky, Russia)

Nikolay B. KARNITSKIY — Dr. of Tech. Sc., Professor, head of the department of thermal power plants, the Belarus National Technical University (Minsk, Belarus)

Sergey A. KROPACHEV — Dr. of Hist. Sc., Rector of the Energy Institute for Advanced Studies of JSC Mosoblenergo (Moscow, Russia)

Vladimir V. KULICHKIN — Dr. of Tech. Sc., Full Member of the Russian Federation Academy of Industrial Ecology, Associate Member of the Academy of Military Sciences of the Russian Federation Defense Ministry, Permanent Representative of the Russian Federation at the NESEFF International Network of European Engineering Universities, member of the Union of Journalists of Moscow (Moscow, Russia)

Valery I. LEBEDEV — Dr. Eng., professor, Deputy Director of the Nuclear

Power Institute of the «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University» (St. Petersburg, Russia)

Mikhail Yu. LVOV — Dr. of Tech. Sc., Adviser to the General Director of United Energy Company JSC (Moscow, Russia)

Nurmammad Y. MAMMADOV — professor, head of Department «Construction of engineering systems and facilities», Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, Azerbaijan)

Mikhail E. MARCHENKO — Cand. of Tech. Sc., Director, «Eniv», LLC (Moscow, Russia)

Vladimir E. MESSERLE — Dr. of Tech. Sc., Professor, Head Research Fellow of the Research institute of experimental and theoretical physics, the al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Sergey V. MISHCHERYAKOV — Dr. of Econ. Sc., Cand. of Tech. Sc., Director General of the Non-profit Partnership «Corporate Training and Scientific Center of the Unified Energy System» (Moscow, Russia)

George MORVA — Sc. Dr., Professor, the Budapest Polytechnic University (Budapest, Hungary)

Leonid P. MUZYKA — Cand. of Tech. Sc., Director, «Resurs-Personal», LLC (Omsk, Russia)

Aleksandr N. NAZARYCHEV — Dr. of Tech. Sc., Professor, Rector of the «Peterburg power engineering institute of professional development» (St. Petersburg, Russia)

Mikhail Ye. ORLOV — Cand. of Eng. Sc., Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation named after V. I. Sharapov of the Ulyanovsk State Technical University (Ulyanovsk, Russia)

Mikhail M. PCHELIN — Class I State Councilor of the RF (retired), awardee of the Prize of the Council of Ministers of the USSR (Moscow, Russia)

Yuri A. RADIN — Dr. Eng., Chief Specialist, Vibration Diagnostics and Adjustment Service, Engineering Department, Mosenergo PJSC (Moscow, Russia)

Sergey M. SENDEROV — Dr. Eng., Vice-director for research, head of Energy Security Department of the Melentiev Energy Systems Institute SB RAS (Irkutsk, Russia)

Karel FRANA — Prof. Dr. — Ing. habil, Technical University of Liberec (Liberec, Czech Republic)

Mikhail I. CHICHINSKIY — Cand. of Tech. Sc., Inspector General/Head of the Department of technical supervision and audit, PJSC «Federal Grid Company of the Unified Energy System» (Moscow, Russia)

Victor E. SHERBA — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Hydromechanics and Transport Machines» FGAOU VO «Omsk State Technical University» (Omsk, Russia)

Founder and publisher: Scientific and Production Association «Energobezопасnost».

Frequency of the edition four times a year. Published since 2008.

The journal is registered in the Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communication, Communications and the Protection of Cultural Heritage. Certificate ПИ № ФЧ77-31974 dated May 14, 2008.

The journal is included into the SCADT's List of major reviewed scientific journals and publications, which shall publish the key scientific findings of theses for academic degrees of Doctor and Candidate of Sciences. The Journal is included in the following databases: RINC, VINITI, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory.

The journal is associated with the UNESCO International Center of Training Systems and the UNESCO International Chair Network «TVET».

Artistic editor: Malanin D. B. Technical Editor: Kutko N. E. Signed in the press on June 28, 2024.

Printed in LLC «Code-Poligraf», Proyezd Devich'yego Polya, 4, Moscow, 119121, Russia.

Mailing address of the editorial office: NPO «Energobezопасnost» Build. 6, 125 «Zh» Varshavskoye Shosse, Moscow, 117587.

Tel: +7 495 665-76-00, +7 495 382-79-74; e-mail: sigma08@sigma08.ru; www.sigma08.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

| | |
|--|----|
| Наумов И. В. Причины аварийности в распределительных электрических сетях (на примере филиала ПАО «Россети Волги» – «Саратовские распределительные сети»)..... | 88 |
| Крупенёв Д. С. Развитие методических основ анализа системной надёжности современных электроэнергетических систем..... | 98 |

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

| | |
|---|-----|
| Золин М. В., Морозов Д. С., Пазушкина О. В. Автоматизация транспорта выпара атмосферного деаэратора в котельных установках | 106 |
| Шашкин В. Ю., Кускарбекова С. И., Шашкин А. В. Совершенствование конструкции регенеративных аппаратов доменного дутья путем расчетов потоков теплоносителя по каналам насадки воздухонагревателя..... | 112 |
| Лазарев Л. Я., Фадеев В. А. К постановке граничных условий при расчетах турбомашин в 3-d компьютерных пакетах..... | 119 |
| Потапов В. В., Кузьмин Д. А., Кузьмичевский А. Ю. Риск-ориентированный метод обоснования снижения величины давления гидравлических испытаний на прочность и его применение на паропроводе АЭС с РУ ВВЭР..... | 129 |
| Баранов В. В., Барсков В. В., Матвеев Ю. В. Газотурбинная установка замкнутого цикла мощностью 500 кВт с различными рабочими телами | 137 |

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

| | |
|---|-----|
| Корнякова О. Ю. Результаты опытного освоения лабораторной установки дистилляции воды на основе теплового насоса и фотоэлектрической панели. | 144 |
| Кондратьев Н. В., Мостовенко Л. В. Применение инерционно-вакуумного уловителя для сепарации твердой фазы диоксида углерода из потока продуктов сгорания топлива котельных агрегатов..... | 151 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| ХРОНИКА, ПУБЛИКАЦИИ | 159 |
|----------------------------------|-----|

CONTENTS

GENERAL ISSUES OF RELIABILITY AND SAFETY OF ENERGY

| | |
|---|----|
| Naumov I. V. Causes of accidents in electrical distribution networks (using the example of the branch of PJSC Rossetti Volga – Saratov Distribution Networks)..... | 88 |
| Krupenev D. S. Development of methodological foundations for analyzing the system reliability of modern electric power systems..... | 98 |

DESIGN, RESEARCH, CALCULATIONS

| | |
|---|-----|
| Zolin M. V., Morozov D. S., Pazushkina O. V. Automation of transportation of vapor of atmospheric deaerator in boiler installations..... | 106 |
| Shashkin V. Yu., Kuskarbekova S. I., Shashkin A. V. Improving the design of blast furnace blast regenerative devices by calculating coolant flows through the channels of the air heater nozzle | 112 |
| Lazarev L. Ya., Fadeev V. A. On setting boundary conditions for calculations of turbomachines in 3-d computer packages | 119 |
| Potapov V. V., Kuzmin D. A., Kuzmichevskiy A. Yu. Risk-based method for substantiating reduction of pressure of hydraulic strength tests and its application on steam line of nuclear power plant with WWER (PWR) reactor plant..... | 129 |
| Baranov V. V., Barskov V. V., Matveev Y. V. Experimental studies of hydrodynamics of the «plate» type canonical region with a modified surface | 137 |

OPERATIONAL PRACTICE

| | |
|---|-----|
| Kornyakova O. Y. Results of experimental development of a laboratory water distillation installation based on a heat pump and a photovoltaic panel | 144 |
| Kondratyev N. V., Mostovenko L. V. Application of an inertial vacuum trap for separation of the solid phase of carbon dioxide from the flow of fuel combustion products of boiler units..... | 151 |